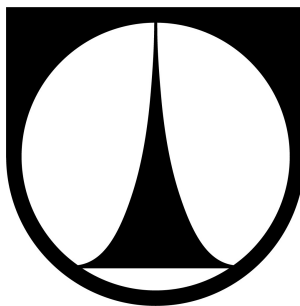


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341-Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Bioplasty a biodegradabilní plasty

Bioplastics and biodegradable plastics

Martin Vacovský

KSP – TP – B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger , Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Habr

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 42

Počet tabulek : 2

Počet příloh : 0

Počet obrázků : 13

Datum: 24. 5. 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Martin V A C O V S K Ý**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**

Zaměření **Tváření kovů a plastů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Bioplasty a biodegradabilní plasty

Zásady pro vypracování:
(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Historie a hodnocení přínosů a rizik bioplastů.
2. Rozdělení plastů z hlediska vlivu na zatížení životního prostředí, zdroje pro výrobu bioplastů.
3. Metody hodnocení biologického rozpadu plastů.
4. Dostupné druhy bioplastů a biodegradabilních plastů na trhu s užitnými vlastnostmi, ukázkové aplikace.
5. Vyhodnocení přínosu práce, závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] DUCHÁČEK V., *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, vydavatelství VŠCHT Praha, 1997.
- [2] SOVA, M., KREBS, J. *Termoplasty v praxi, Praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*, Verlag Dashöfer Praha, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A., *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*, 1. vydání SNTL Praha, Alfa Bratislava, 1989, 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- [4] Odborné články v časopisech.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Habr



prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 15. 2. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student: Martin Vacovský

Téma práce: Bioplasty a biodegradabilní plasty
Bioplastics and biodegradable plastics

Číslo BP: KSP-TP-B

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger , Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Habr

Abstrakt:

V bakalářské práci je uvedena charakteristika bioplastu a biodegradabilního plastu, jejich vznik a rozdíl v následné degradaci. Práce informuje o biopolymerních sloučeninách a konkrétních bioproduktech s jejich vlastnostmi a aplikacemi. Jsou zde zmíněni výrobci a dodavatelé z Čech i zahraničí.

Abstract:

This bachelor thesis deals with characteristics of bioplastic and biodegradable plastic, their formation and differences in subsequent degradation. The thesis informs the reader about biopolymer compounds and specific bioproducts, their properties and applications. Some producers and suppliers from the Czech Republic and from abroad are mentioned.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. Května 2013

.....
Martin Vacovský
Jáchymovská 279
460 10 Liberec 10

Poděkování:

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Alešovi Auspergerovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při psaní bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé sestře za češtinářské připomínky a projevenou podporu, a v neposlední řadě svým rodičům za umožnění studia na vysoké škole.

Obsah

1	Úvod	9
2	Historie	10
3	Konvenční plasty	12
3.1	Polymer	12
4	Nekonvenční plasty	12
4.1	Proč se zabývat plasty s předponou „bio“?	13
4.2	Bioplast	14
4.3	Plasty se zkrácenou životností	14
4.3.1	Chemodegradace	15
4.3.2	Termodegradace	15
4.3.3	Fotodegradace	15
4.3.4	OXO-degradace	16
4.3.5	Biodegradace	17
4.4	Biodegradabilní plast	17
4.4.1	Vznik biodegradabilních plastů	17
4.4.2	Biodegradace plastů	18
4.4.3	Možné problémy s bioplasty i biodegradabilními plasty	19
4.4.4	Vývoj biodegradabilních plastů v Čechách	20
4.5	Norma ASTM D6400 a EN 13432	21
5	Biodegradabilní polymerní sloučeniny	21
5.1	Polylactic acid (PLA)	21
5.2	Polyhydroxybutyrát (PHB)	23
5.3	Polyvinylalkohol (PVA)	23

5.4	Polykaprolakton (PCL)	24
5.5	Poly butylene adipate-co-terephthalate (PBAT)	24
6	Konkrétní biodegradovatelné produkty	25
6.1	EarthFirst™PLA	25
6.2	Bio-Flex 219F	25
6.3	Biograde ® C 9550 (jiné označení Biograde 300A).....	27
6.4	Biograde ® C 7500.....	28
6.5	Terralene ®	29
6.6	Biomer ®	30
6.7	Ecoflex a Ecovio pro vícevrstvé obaly	31
6.8	OXO-degradovatelná fólie Granitol	32
6.9	BIO taška Granitol	33
6.10	Envira®.....	33
6.11	Green PE („Zelený“ PE).....	34
6.12	Mater-Bi®	35
6.13	Solanyl®	35
6.14	FlourPlast ®	36
6.15	Optinyl ®.....	36
6.16	Bioplast z drůbežího peří	37
6.17	Biopolymery z tabáku a rákosu.....	37
6.18	Bio-kompozity TUL	38
6.19	Vlastní pokusy	39
7	Závěr.....	41

Seznam použitých zkratk a symbolů:

ASTM	American Society for Testing and Materials (Americká společnost pro testování a materiály)
BASF	Zkratka chemické společnosti Badische Anilin- & Soda-Fabrik
CO ₂	Oxid uhličitý
EN	Evropská norma
HD-PE	High density polyethylene (vysoko hustotní polyetylen)
LD-PE	Low density polyethylene (nízko hustotní polyetylen)
LLD-PE	Linear low density polyethylene (Lineární nízkohustotní polyetylen)
PBAT	Poly butylene adipate-co-terphthalate
PCL	Polykaprolakton
PE	Polyetylen
PHA	Polyhydroxyalkanoáty
PHB	Polyhydroxybutyrát
PHV	Polyhydroxyvalerát
PLA	Polylactic acid, polylaktid (kyselina polymléčná)
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVA	Polyvinylalkohol
TAČR	Technologická agentura České republiky
TDPA	Totally Degradable Plastic Additives (Zcela rozložitelné přísady pro plasty)
USA	Spojené státy americké

1 Úvod

Plasty jsou v dnešní době velmi rozšířené, v některých případech i nenahraditelné. Asi si ani nedokážeme svět bez těchto hmot představit. Obklopují nás. Jsou všude, kam se člověk v moderní době podívá. Díky jejich vynikajícím vlastnostem nacházejí stále větší uplatnění zejména v automobilovém, elektrotechnickém, či stavebním průmyslu.

Obecná obava panuje z období, kdy už plastový výrobek přestane sloužit a stane se z něj nežádoucí odpad. Při dodržení jistých zásad se však člověk nemusí obávat, že by ho za pár let plastový odpad zasypal. Veškeré termoplasty, které tvoří odhadem 80 % všech výrobků z této látky, se dají recyklovat. Jinak řečeno lze po určité úpravě znovu použít.

Zde se věda ale nezastavila a pokračuje dál ve vyvíjení podobných hmot. Například již dnes se používají materiály, které se částečně nebo úplně vyrábí z obnovitelných zdrojů.

Cílem této práce je seznámit s dalším pokrokem ve vývoji těchto látek a také dát lidem více do podvědomí, že existují plasty, které jsou k životnímu prostředí šetrné. Práce popisuje, jakým způsobem se takové látky vyrábí, jaká je náročnost výroby, jaká je jejich životnost nebo co zapříčiní jejich biologické rozložení. Dále je zmíněno, jaké sloučeniny mají přírodní původ, a které konkrétní bioprodukty jsou dnes na trhu k dostání.

Zabývá se touto problematikou někdo také v České republice? Zaznamenali čeští vědci nějaký úspěch? Lze použít na výrobu ekologického plastu například použitý fritovací olej? Na tyto a další otázky v této práci najdete odpověď.

2 Historie

Plast, jako přírodní kaučuk, je znám již od 11. století, ale tehdy ho lidé ještě neuměli technicky využít. Při jedné z Kolumbových výprav do Jižní Ameriky v roce 1493 si námořníci všimli tamních Indiánů, že si pro své hry zhotovovali míče z jakési pružné hmoty. Byl to kaučuk, který získávali z poraněných stromů Kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis* [Obr.1]). Již zmíněný strom však v Evropě nerostl, proto se kaučuk musel dovážet. [2]



Obr. 1: Kaučukovník brazilský (*Hevea brasiliensis*) [1]

K prvnímu velkému využití v Evropě došlo v roce 1791, kdy se z textilního vlákna impregnovaného kaučukem vyráběly nepromokavé lodní plachty a pytle na přepravu pošty. Problémem tehdy byla křehkost výrobků v zimním období a naopak lepkavost v letním období. [2]

K odstranění těchto nežádoucích projevů významnou měrou přispěl anglický vynálezce Thomas Hancock. Pokusy dospěl k závěru, že zahříváním kaučuku v roztavené síře (teplota tání síry je 115°C), získá tvrdou pryž (ebonit), která je stálá. Za různých podmínek nekřehne ani nelepká. Tento proces nazýváme vulkanizací. Také zjistil, že se reakce dvojnásobně

urychlí, zvýší-li se teplota o 10 stupňů Celsia. V roce 1843 si své objevy nechal patentovat. [2]

Roku 1888 se do povědomí dostal vynález inženýra Roberta Williama Thomsona. Jednalo se o pneumatiky, které částečně utlumily rázy tehdejších vozů. Díky této skutečnosti se na přelomu 19. a 20. století začal zájem o pryž zvyšovat a přírodního kaučuku začínal být nedostatek. Proto vědci báдали, jak tuto hmotu nebývalých vlastností uměle vyrobit. [2]

Jeden z prvních synteticky připravovaných kaučuků byl izopren (polyizopren), o který se zasloužili Granwill Williams a Gustave Bouchardat. Granwill Williams dokázal z přírodního kaučuku oddělit čistou látku a Gustave Bouchardat tuto čistou látku přeměnil zpět na kaučuk. Další syntetickou pryží byl butadien, který se získal na základě Lebeděvovy metody. Tato metoda vychází z ethanolu, který je podroben reakci v přítomnosti speciálního katalyzátoru. [2], [3]

Postupem času se nová hmota rozvíjela tak, že gumárenský průmysl po roce 1943 zpracovával více syntetického kaučuku než přírodního. Důvodem bylo rostoucí upotřebení v různých průmyslových odvětvích – automobilový, letecký atd.

Plast, který se používá až do dnešní doby, se nazývá polyvinylchlorid (PVC). Tehdy ho používali na výrobu fólie, lidově zvané igelit. Slovo igelit vzniklo v Německu v roce 1925 z názvu továrny společnosti I. G. Farben a zbytek názvu byl odvozen podle ostatních plastů té doby jako například bakelit. [4]

Dnes se polyvinylchlorid hojně používá například ve stavebnictví - trubky, okenní rámy, linolea atd., ve strojírenství, i v automobilovém průmyslu. Jeho velkou nevýhodou však je nešetrnost k životnímu prostředí a lidskému zdraví.

3 Konvenční plasty

Jsou polymery vyrobené z ropy, které mají potenciál se stále rozvíjet a zdokonalovat. Mají nemalé zastoupení v mnoha různých odvětvích. Mnohdy jsou nenahraditelné a díky tomu stále roste i jejich spotřeba. Roční nárůst činí zhruba 3 až 6 %. Ukáže čas, co s touto vzestupnou tendencí udělá vývoj tzv. bioplastů.

3.1 Polymer

Polymer je látka s velkými molekulami (makromolekulami), v nichž se jako článek v řetězci mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. Tento děj nazýváme polymerací. Molekuly jsou převážně tvořeny atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, a pak v menším množství také atomy dusíku, chlóru a dalších prvků. Polymer vyniká výbornou plastičností, díky které mu může být při zpracování snadno udělen požadovaný tvar budoucího výrobku. [2]

Velkým plusem polymerů je jejich nízká měrná hmotnost, možnost barvení už při výrobě, či snadná výroba složitých součástí. Nezanedbatelná je i energeticky menší náročnost. Oproti ocelím může být až o 70 % nižší. To vše přispívá k velkému rozvoji plastů. Zdokonalují se, některé se částečně vyrábí z biopolymerů a vyvíjí se nové druhy ohleduplnější k životnímu prostředí.

4 Nekonvenční plasty

Jsou materiály vyrobené z ropy, které obsahují speciální život zkracující přísady, nebo materiály, jejichž výchozí surovinou je obnovitelný zdroj. Ať už je to zemědělská plodina nebo třeba rákos. Více informací o těchto ne zcela běžných plastech je uvedeno níže v práci.

4.1 Proč se zabývat plasty s předponou „bio“?

Převážná většina plastů je vyrobena z ropy. Problémem je, že zdroje naší Země nejsou nevyčerpatelné. Skutečné zásoby lze jen těžko přesně určit, protože ropní magnáti nikdy nepřiznají, kolik zásob ještě mají, aby neztratili investory. Neoddiskutovatelné je, že fosilní látky je třeba šetřit. Nejpesimističtější experti odhadují, že ropa, při aktuální spotřebě, vydrží na 30 let. Na druhé straně optimističtí odborníci tvrdí, že ropy je na 60-70 let. Důvodem je například stále se zdokonalující technika, díky které lze těžit i špatně dostupná ložiska nebo díky které lze dotěžit stará, již opuštěná, naleziště. [5]

Veškeré termoplasty, které tvoří 80% většinu, jsou recyklovatelné. Bohužel jen na málo místech světa se využívá recyklace maximálně efektivně a mnoho vysloužilých plastových výrobků tak končí na skládkách či ve spalovnách. To je pro přírodu značně nešetrné.

Mnohem ekologičtější přístup je, vyrobit plast z materiálu, který se po ukončení své životnosti sám v přírodě rozloží. Myšlenka to není utopická. Už několik desítek let se s velmi dobrými výsledky vyvíjejí a testují plasty, které jsou vyrobené z přírodních zdrojů. A některé jsou i dokonce biologicky rozložitelné.

Stejně jako ropu, je potřeba šetřit i přírodu. Z hlediska ochrany životního prostředí je na světě nejprůběžnějším státem Kalifornie v USA. Podporují to i svými kalifornskými zákony, které vyžadují například odklon odpadu od skládkování. Snaží se přiblížit k tomu, aby se 75 % veškerého pevného odpadu zbavili kompostováním nebo recyklováním. [6]

Z výše uvedeného je zřejmé, že v dnešní době se plasty vyrábí jak z fosilních látek, tak i z obnovitelných zdrojů. Malý problém je v nejednoznačném obecném pojmenování, jak ukazuje tabulka 1.

Tab. 1 Rozdělení plastů podle surovin, ze kterých se vyrábí.

Skupina	Surovina	Charakteristická vlastnost	Jak se jim říká
1	plasty vyrobené z petrochemických surovin	nebiodegradovatelné	plast
2	plasty vyrobené z petrochemických surovin	OXO-degradovatelné a nekompostovatelné	bioplast
3	plasty vyrobené částečně z petrochemických surovin a částečně z obnovitelných surovin	nebiodegradovatelné	bioplast
4	plasty vyrobené z obnovitelných surovin	biodegradovatelné a nekompostovatelné	bioplast
5	plasty vyrobené z obnovitelných surovin	biodegradovatelné a kompostovatelné	bioplast

4.2 Bioplast

Z tabulky 1 je patrné, že jednotný význam pojmu „bioplast“ neexistuje. Může jím být pojmenován biodegradovatelný plast na bázi ropy, biologicky odbouratelný plast z obnovitelných zdrojů, nebo jejich kombinace. Všechny tyto typy však mají jednu společnou věc - člověk při jejich vývoji aspoň trochu myslel na přírodu. [7]

Například u bioplastu ze čtvrté skupiny [Tab. 1] se na rozpadu v 90 % podílí bakterie, houby a enzymy. Na konci tohoto děje zbude voda, CO₂ a methan. Pátá skupina [Tab. 1] splňuje normu EN 13432, jež garantuje, že bakterie, houby a enzymy vytvoří vodu, CO₂ a biomasu, která se může použít ke hnojení. Je třeba vždy mít o daném bioplastu podrobné informace, aby se mohl zvolit správný a nejefektivnější způsob degradace. [7]

4.3 Plasty se zkrácenou životností

Plasty se zkrácenou životností jsou polymery syntetického nebo přírodního původu, jejichž organické části se rozkládají. Tyto rozklady mohou

být několikerého druhu, například chemodegradace, termodegradace, fotodegradace, OXO-degradace nebo biodegradace.

Sled jednotlivých procesů degradace bývá podobný. Nejprve je materiál vystaven expozici, což může být například světelné záření, teplota či mikroorganismy. Tímto dochází k narušení povrchu. Objevují se prasklinky, zeslabení, ztráta barvy nebo ztráta mechanických vlastností materiálu. Mezi poslední fáze patří difúze s prostředím, po které následuje uvolnění reakčních produktů do okolního prostředí, a pak samotný rozklad materiálu (polymeru). [8]

4.3.1 Chemodegradace

Je proces, který využívá chemického prostředí, kde zdrojem jsou chemicky účinné látky způsobující degradaci plastu. Často se kombinují s nějakými dalšími vlivy (fyzikálními, biologickými). Chemodegradace je účinná především u plastických hmot, jež mají ve svém řetězci zavedeny funkční skupiny. To jsou skupiny atomů v molekule, které jí přidávají určité charakteristické vlastnosti. [8]

4.3.2 Termodegradace

Jedná se o chemický i fyzikální proces, kdy je materiál rozrušován účinkem teploty. Se zvyšující se teplotou, intenzita degradace roste. Obecně platí, že k narušení molekuly dojde v místě její nejslabší vazby. [8]

4.3.3 Fotodegradace

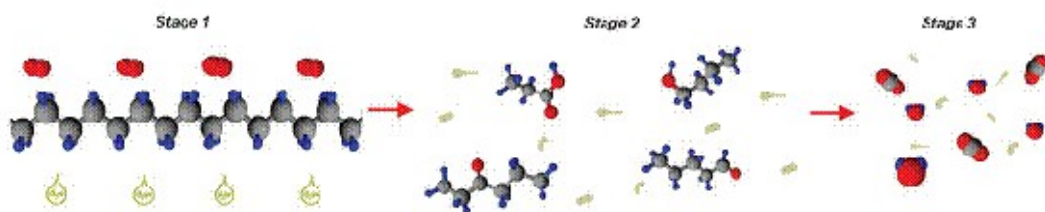
Je fyzikální proces, kdy je materiál rozkládán vlivem slunečního záření. Takový plast ho nesmí odrazit, rozptýlit ani propustit, ale musí ho

absorbovat. Díky absorbované energii se pak fotodegradabilní plasty rozpadají. [8]

4.3.4 OXO-degradace

Je dvoustupňová degradace „ropných“ plastů, jež bere v potaz i přírodu. Aby se mohl z konvenčního plastu stát OXO-degradabilní, musí se k němu při jeho výrobě přidat speciální zcela rozložitelné přísady (TDPA). Ty způsobují, že po určitém čase se zahájí první fáze rozpadu, a to chemická oxidace. [Obr. 2] Při oxidaci se do vazeb polyolefinů dostává kyslík, který způsobí, že velké hydrofobní molekuly polyolefinů se rozpadnou na menší hydrofilní. Potom následuje druhá fáze - biologická mineralizace. Oba procesy se sice urychlují vyšší teplotou a UV zářením, ale i tak jejich rozpad trvá 2 až 3 roky. Což je jeden z důvodů, proč nesmí přijít do kompostů. Kompostovatelný materiál se musí rozpadnout během několika týdnů. Velkou výhodou OXO-degradabilních plastů je, že mohou bez problému projít recyklačním procesem na stávajících recyklačních strojích. [9], [10]

Přidat do plastu TDPA není tak složité. Mnohem těžším úkolem je zvolit přesné množství. Pokud se do plastu, s vidinou urychlení OXO-degradace, přidá činidla hodně, hrozí, že se výrobky rozpadnou dřív, než se vůbec začnou používat. Předčasný rozpad lze zase regulovat přidáním antioxidačních prvků. Najít rovnováhu, není lehký úkol a každý takto vyrobený plast musí projít testy podle příslušných norem. [9], [10]



Obr. 2: Degradace polymerního řetězce s TDPA. [28]

4.3.5 Biodegradace

Je speciálním případem degradace, při níž biologicky vyrobený plast podléhá destrukci biologickými činiteli. Tím jsou myšleny mikroorganismy, makroorganismy, hmyz či plísňe. Podrobněji popsáno níže v práci. [8]

4.4 Biodegradabilní plast

Je materiál, který je vyroben z obnovitelných zdrojů a díky tomu není závislý na ropě a jejích příměsích. Na první pohled i dotek vypadá stejně jako běžně užívané plasty z ropy a dokonce dosahuje srovnatelných vlastností, jako jsou například pružnost, tvrdost, ohebnost, průhlednost a odolnost. Další přednost biodegradabilního plastu spočívá v tom, že se po ukončení své životnosti biologicky rozloží v kompostu nebo v průmyslových kompostárnách. Což pro životní prostředí představuje ekologický přínos. [11]

Biodegradabilní plast je celosvětově uznán a certifikován pro použití v potravinářství a je u něj garantována zdravotní nezávadnost. [11]

4.4.1 Vznik biodegradabilních plastů

Biodegradabilní plasty jsou materiály vyrobené z rostlinných polysacharidů, které se získávají ze zemědělských produktů, jako jsou například: kukuřice, brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, tabák, sója, konopí.

Škrob z výše uvedených surovin je nejčastějším polymerem pro výrobu biodegradabilních plastů. Má chemické vazby, které se působením enzymů velice snadno štěpí, velmi rychle se v přírodě rozkládá, a pro životní prostředí tedy nepředstavuje žádnou zátěž. K čistému škrobu je ovšem třeba přidat speciální přísady, takzvané plastifikátory. Jsou to buď sorbitol, nebo glycerin. Ani ty nejsou pro životní prostředí nebezpečné. Škrob dokáže

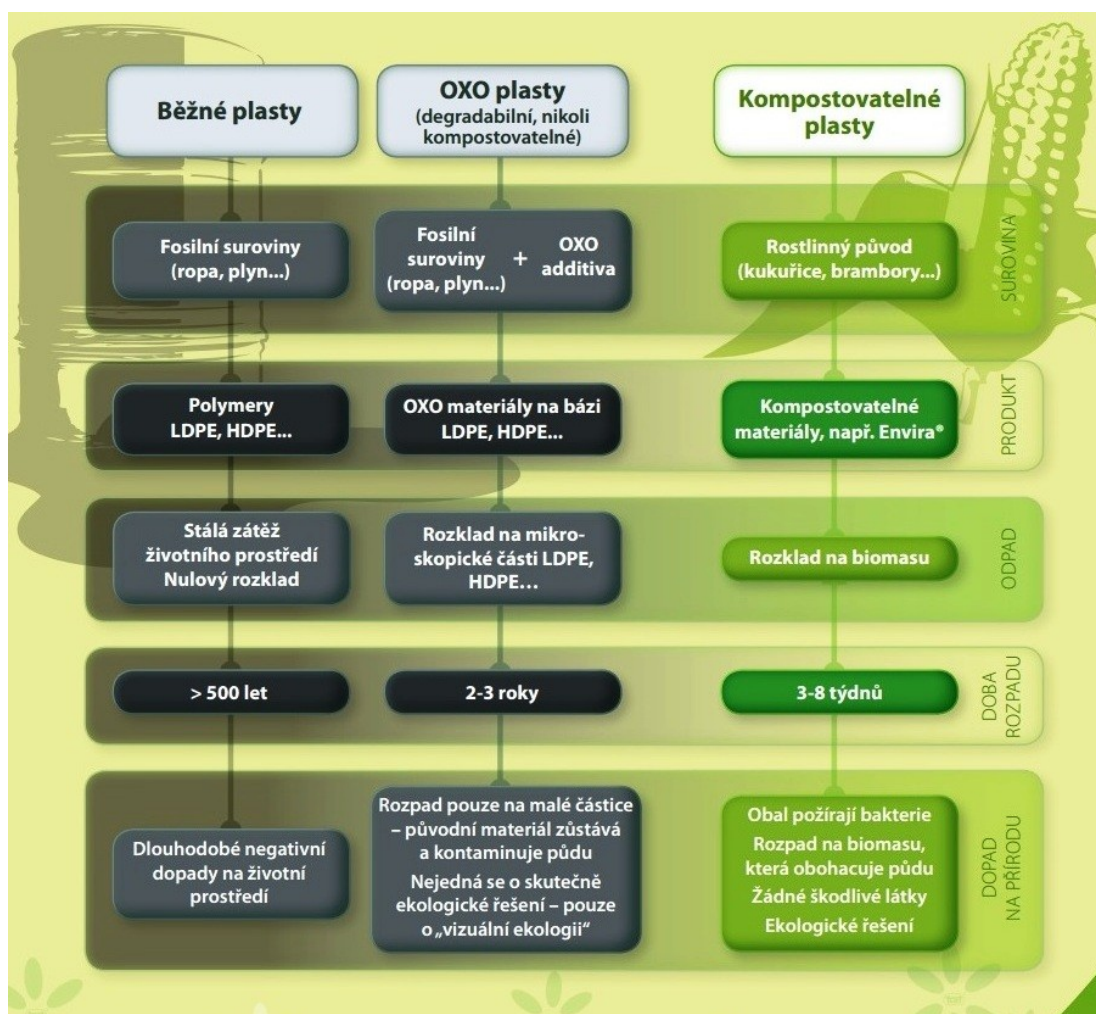
absorbovat vlhkost, je hydrofilní. Přidají-li se k němu třeba hydrofobní, tedy vodu odpuzující polyestery, může se vytvořit materiál, který bude voděodolný, a přitom bude i biologicky odbouratelný. [12]

Konkrétně biodegradabilní plast vzniká přeměnou škrobu, ze kterého se za vysokých teplot izoluje glukóza. Poté se kvašením získá kyselina mléčná, a z ní pak polymerizací kyselina polymléčná mající totožné vlastnosti jako plast vyrobený z fosilních látek. [11], [12]

Výroba není, na rozdíl od konvenčních plastů, příliš energeticky náročná. Dokonce může být až o 65 % nižší. Důvodem, proč ještě nejsou biodegradabilní plasty tak rozšířené, je jejich stále vysoká celková cena. Ta je dána tím, že se rostliny pro výrobu biopolymeru musí nejdříve vypěstovat. Nepříznivý stav se však může brzy změnit, pokud budou jednotlivé státy či Evropská Unie více podporovat technologický vývoj a stále naléhat na používání ekologicky šetrných plastů.

4.4.2 Biodegradace plastů

Biodegradace je biologické rozkládání materiálů na menší a menší části až na jednoduché chemické řetězce, které mohou pohodlně strávit mikroorganismy, bakterie, či plísňe. K urychlení degradace přispívá vyšší teplota, vyšší vlhkost a dostatečný přísun vzduchu. Nejlepší podmínky lze vytvořit ve speciálních průmyslových kompostárnách, kde je zaručen správný poměr jednotlivých složek tak, aby se docílilo maximální účinnosti. Tím se získá kvalitní humus, který může nahradit některá průmyslová hnojiva. Testy a zkoušky prokázaly 100% rozložitelnost v průmyslových kompostárnách v řádech týdnů. Na skládkách, se po zahrnutí hlínou rozkládají také, ovšem za podstatně delší dobu. Celý „život“ takového plastu a porovnání s jinými je znázorněn na Obr. 3. [11]



Obr. 3: Přehled „života“ různých druhů plastů [29]

4.4.3 Možné problémy s bioplasty i biodegradabilními plasty

Zatím se k výrobě bioplastů používají většinou rostliny, které jsou zároveň součástí potravinového řetězce lidí nebo domácích zvířat. Už tlak na zavedení biopaliv vedl k nárůstu cen některých zemědělských produktů, a kdyby se začaly vyrábět ve velkém množství i bioplasty, mohlo by být ohroženo zásobování lidstva základními potravinami. Mnoho velkých světových výrobců bioplastů se proto snaží najít řešení v dosud nevyužitých nebo málo využitých rostlinách. Zatím nejdále je americká firma Metabolix, která se zaměřila na jinak nepoužitelnou rákosovou trávu, která roste neuvěřitelně rychle, nebo firma Monsanto, jež se specializuje na geneticky

upravené rostliny, to zkouší s transgenními rostlinami. Malajci zase používají větve palmy olejnaté, které jsou odpadem při výrobě palmového oleje.

Dalším problémem je, že biodegradovatelný plast vyrobený z rostlinných zdrojů, který je kompostovatelný, nesmí přijít do recyklačních strojů. Respektive firmy ho zatím nepřijímají, protože z dlouhodobého hlediska, není potvrzeno, že následný nový výrobek bude mít vlastnosti jako předmět zhotovený z konvenčního recyklátu. [12]

4.4.4 Vývoj biodegradabilních plastů v Čechách

V České republice je jen velmi málo firem, které zpracovávají biodegradabilní plasty. Žádná se však, z důvodu vysokých nákladů, vývojem ani výrobou nezabývá. Společnosti biopolotovary kupují v zahraničí, nejčastěji v Německu, Velké Británii či Kanadě, kde jsou s vývojem napřed. V zahraničí se bioprodukty používají převážně v potravinářském průmyslu. Vzhledem k tomu, že na západě jsou bioplasty na vzestupu, očekává se rozšíření i na našem trhu. [13]

Více než před rokem zaznamenali velký úspěch brněnští vědci, kterým se podařilo vyrobit polymer z použitého fritovacího oleje. Ivana Márová z Vysokého učení technického zasvěcuje: „Některé bakteriální kmeny mají schopnost produkovat ve svém těle z potravy zásobní polymer, který si ukládají na horší časy. Bakterie žijí někde v zásobní kultuře, my z té zásobní kultury postupně přeočkováváme menší, větší a největší objem, až ji dáme do kultivačního tanku, kterému se říká laboratorní fermentor. Vytváříme bakterii podmínky na maximální produkci toho polymeru.“ Olej tedy slouží bakteriím jako potrava a samy si z něj vyrábějí do zásoby bioplast. „Tyto bakterie dostávají jako potravu odpadní olej z menzy a s využitím unikátního technologického izolačního postupu umíme vyrobit za tři dny kultivace ve sto litrech asi tak dvě kila čistého polymeru,“ dodává Márová. O technologii projevila velký zájem Čína, a proto se podnikly kroky ke vzájemné spolupráci. V současné době se připravuje budování výzkumné a vývojové linky

v Čechách, která bude poskytovat podkladové a technologické informace pro realizaci velkokapacitní výroby v přímo v Číně. [14]

4.5 Norma ASTM D6400 a EN 13432

Obě normy nastavují vysoký standard z hlediska biologického rozpadu materiálu za aerobních podmínek. Splňuje-li výrobek všechna kritéria těchto norem, znamená to, že se v určitém časovém období zcela biologicky rozloží a nezneškodní tím své okolí. Rozdíl mezi normami je v procentuálním rozkladu za čas. ASTM D6400 vyžaduje, aby došlo minimálně k 60% degradaci během 180 dní, zatímco EN 13432 během stejného časového období garantuje degradaci 90%. Někteří výrobci přísné specifikace nedosahují a kvůli propagaci svých výrobků se odkazují na normy s nižším standardem (ASTM 6954). To pak vede k velkým komplikacím při následné degradaci ve speciálních kompostárnách. Vzniklá biomasa, která se používá jako hnojivo, pak obsahuje i plasty rozložené jen z části, a ty následně znehodnocují úrodnou půdu. [15], [16]

Testy kompostovatelnosti probíhají v agresivních podmínkách průmyslových kompostovacích jednotek. To znamená, že u obyčejného soukromého kompostování na zahrádce nemusí rozložení nastat v garantovaném časovém období.

5 Biodegradabilní polymerní sloučeniny

5.1 Polylactic acid (PLA)

Polylactic acid (také nepřesně nazýván kyselina polymléčná) patří mezi nejčastěji používaný biodegradabilní plast, který splňuje veškerá kritéria rozkladu dle příslušných norem ASTM D 6400 a EN 13432. Výchozí

surovinou je nejčastěji kukuřice, cukrová řepa nebo cukrová třtina. Lze ho jako jeden z mála polymerů řízeně rozložit biologicky i chemicky zpět na monomer, který může být znovu použit na výrobu plnohodnotného polymeru – PLA. [17]

Často je aplikován tam, kde je potřeba použít plast se zkrácenou životností, nebo tam, kde se vyžadují vyšší požadavky na kvalitu a zdravotní nezávadnost. Z tohoto materiálu lze vyrobit takřka vše (talíře, příbory, kelímky, sáčky, tašky, dózy na jídlo, obaly na potraviny, krájecí prkénka, tácy, podnosy atd.). [12]

S PLA je možno se setkat i ve zdravotnictví. Lidské tělo se s ním velice dobře snáší a vzhledem k tomu, že je biologicky odbouratelný, bez problémů jej vstřebává. Lékaři už používají například samovstřebatelné PLA nitě pro šití ran, díky čemuž končí nepříjemné vytahování stehů. [12]

Výhody PLA:

- Neobsahují žádné chemikálie a přídavné látky jako konvenční plasty z ropy.
- Šetří spotřebu neobnovitelných fosilních zdrojů.
- Snižují produkci skleníkových plynů jako je CO₂.
- Díky své odbouratelnosti se v prostředí za poměrně krátkou dobu rozloží a neznečišťují tak životní prostředí.
- Dají se zkompostovat.
- Jsou velmi odolné vůči teplu, vodě, slunečnímu svitu.
- Vhodné k uskladnění potravin.
- Jsou chuťově neutrální, zdravotně nezávadné.
- Nejsou alergenní, protože kukuřičný alergen „profilin“ je během výrobního procesu zničen.

- Splňují veškeré evropské a světové normy a nařízení pro zdravotní nezávadnost a potravinářské použití. [11]

5.2 Polyhydroxybutyrát (PHB)

Je biopolymer, který je přítomný ve všech živých organismech. Mnohé bakterie produkují PHB ve velkém množství jako zásobní zdroj a energii na horší časy (namísto tuku, oleje nebo škrobu). Má termoplastické vlastnosti a lze ho zpracovat na klasické pelety, které mohou přijít do konvenčních strojů. Není toxický a je zcela biologicky odbouratelný. [18]

Tento biopolymer je v portfoliu německé firmy Biomer, která se výrobou bioplastů a biodegradovatelných plastů na bázi PHB zabývá.

5.3 Polyvinylalkohol (PVA)

PVA je synteticky vyrobený vodou rozpustný polymer, který se nejdéle využívá v textilním průmyslu. Například při výrobě krajek. Použití spočívá v tom, že se potřebné vzory vyšijí na plachtu z PVA. Ta se pak rozpustí a zůstane jen potřebný produkt, který by se dal jen těžko strojově vyrobit bez použití této technologie. V dnešní době se také používá k výrobě sáčků nebo fólií. Je ideální pro balení různých směsí, které jsou určeny pro mísení s vodou. Může jím být balen cement, vápno, sádra, chemikálie, hnojivo, ale i saponáty, prací prášky, čisticí prostředky aj. Hlavní výhody sáčků z PVA jsou přesné dávkování (dávkuje stroj při plnění), bezkontaktní dávkování (člověk nepřijde s případnou chemikálií do styku) a nulové ztráty. [19]

Polyvinylalkohol se velmi rozšiřuje i u rybářů. Ti ho využívají především ve formě sáčků či sítí, ve kterých mají krmivo pro lokální krmení v blízkosti nástrahy. [Obr. 4] Po nahození se síť rozpustí a návnada je v těsné blízkosti háčku. [20]



Obr. 4: Použití PVA u rybářů. [20]

5.4 Polykaprolakton (PCL)

Je syntetický polyester vyrobený z petrochemických surovin. Díky přítomnosti esterových vazeb ve svých makromolekulách může i u něj proběhnout degradace a následná mineralizace. Často se mísí s dalšími komponenty s cílem zlepšit užité vlastnosti. Využíván je v potravinářství, zemědělství, ale i ve zdravotnictví. [21]

5.5 Poly butylene adipate-co-terephthalate (PBAT)

Je biologicky odbouratelný polymer zpracovatelný podle konvenčních metod jako klasický termoplast. Za účelem získání lepších vlastností se nejčastěji kombinuje s PLA, ale i s jinými biopolymery. [22]

6 Konkrétní biodegradovatelné produkty

Zde jsou uvedeny dostupné druhy bioplastů a biodegradabilních plastů s jejich vlastnostmi a aplikacemi.

6.1 EarthFirst™PLA

Jde o kompostovatelnou fólii vyrobenou z kukuřičného škrobu (PLA). Fólie se vyznačuje vynikající propustností vlhkosti, odolností proti poškrábání, vysokou průsvitností UV záření a vynikající potiskovostí. Mezi její další charakteristické vlastnosti patří vonná a chuťová bariéra, která zaručuje zvýšenou odolnost proti vstupu nežádoucích pachů a zároveň ochrání vlastní aroma a chuť. Tyto vlastnosti jí umožňují plně nahradit konvenční plasty, běžně užívané v potravinářství. Nejčastěji se s ní lze setkat při balení čerstvých a trvanlivých potravin. [19]

Balící fólii EarthFirst™PLA nabízí firma K.O.S. – plastic s.r.o. sídlící v Hradci Králové. Zabývá se prodejem i výrobou. V portfoliu firmy je možné nalézt produkty vyrobené z polymerů „ropných“, recyklovaných i biodegradabilních. Biopolymery získává díky spolupráci s německou firmou FkuR Kunststoff GmbH, která přímo biodegradabilní plasty vyrábí. [23]

6.2 Bio-Flex 219F

Je biodegradabilní plast pro výrobu fólií vyfukováním, který je srovnatelný s LD-PE. Rozsáhlé testy německé firmy FkuR Kunststoff GmbH ukázaly, že tento materiál může být zpracován tradičním způsobem jako LD-PE folie, bez potřeby zvláštního nastavení šneku, počátečních hodnot nebo úpravy formy. [25]

Dobré zpracování je založeno na větší kompatibilitě komponentů ve sloučenině, hlavně kyseliny polymléčné (PLA) a kopolysterů. Tyto látky jsou

všeobecně nekompatibilní, což je doloženo tím, že se rozštěpí na vrstvy, pokud se vystaví silnému tečnému napětí. Spojení mezi PLA a kopolyesterem může být stabilizováno přidáním specifické kombinace kompatibilizerů. To umožní podílu PLA větší provázání s druhou hlavní přísadou, čímž může být významně zlepšeno usazování přírodních výplní v PLA - kopolyesterové matici. [25]

Další druhy Bio-Flex:

- **Bio-Flex® F 1130** [Obr. 5] je biopolymer pro výrobu univerzálních fólií, které mají podobné mechanické vlastnosti jako LD-PE. Lze jej bez problému zpracovávat na běžných vytlačovacích strojích pro PE. [24]



Obr. 5: Bio-Flex F 1130 a jeho aplikace. Vzduchový polštář a taška. [24]

- **BIO-FLEX® F 6510** [Obr. 6] je biopolymer ideální pro vstřikování a vyfukování, ale je možné také vytlačování s následným tvarováním.



Obr. 6: Bio-Flex F 1130 a jeho aplikace. Hrnky a brčka. [24]

- **BIO-FLEX® S 6540** [Obr. 7] vyniká díky své vysoké tuhosti spolu s vysokou odolností proti rázům. Tento biopolymer je také vhodný, jako BIO-FLEX® F 6510, pro vstřikování, vyfukování a vytlačování s

následným tvarováním. Bývá zpracováván na standardních strojích a díky dobré tepelné vodivosti jsou i krátké vstřikovací cykly. [24]



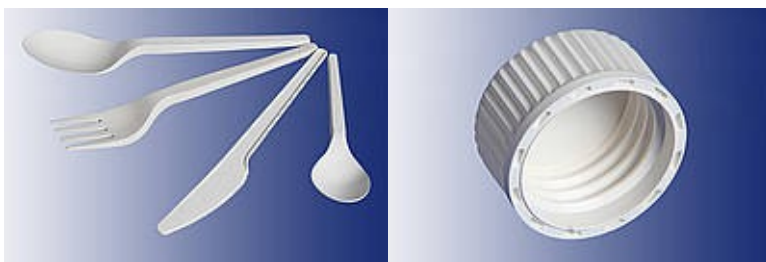
Obr. 7: Bio-Flex F 1130 a jeho aplikace. Dóza na kosmetiku. [24]

Firma FkuR Kunststoff GmbH má ve svém portfoliu mnoho dalších druhů Bio-Flexu, které se liší některými vlastnostmi a užitím. Vesměs všechny jsou konkurence schopné tradičním materiálům LDPE, HDPE, PS, PP, PE. [24]

6.3 Biograde® C 9550 (jiné označení Biograde 300A)

Byl vyvinut německou firmou FkuR Kunststoff GmbH pro výrobu vstřikovaných dílů. Tento materiál je významný výbornou zpracovatelností a dobrými mechanickými vlastnostmi. Představuje kompromis mezi protikladnými požadavky na biologickou rozložitelnost a vysokou tepelnou stabilitu. Oproti většině biologicky rozložitelných polymerů, které "kapitulují" při teplotě nad 75°C, Biograde C 9550 v testech Vicat A (DIN ISO 306) snese teploty okolo 95°C. V tomto směru je dokonce lepší než standardní polystyren (PS). Při vstřikování je třeba nastavit vysokou vstřikovací rychlost, krátký čas držení tlaku a rychlé chlazení. Materiál brzy tuhne, má velmi nízkou srážlivost a skutečnou absenci deformací. Biograde C 9550 může být bez problémů vstřikován na běžných strojích vybavených šnekem pro všestranné použití. Není však vhodný pro „Hot runner systém“ neboli „systém horkých vtoků“. [25]

Použití Biograde C 9550 je široké, od předmětů pro stolování, jako jsou příbory a talíře, až po technické součástky. [Obr. 8]



Obr. 8: Biograde C 9550 a jeho aplikace. Příbory a uzávěr. [24]

Základem Biograde C 9550 je upravená celulóza, přesněji acetát celulózy. Svým vzhledem připomíná rohovinu. Mezi jeho charakteristické vlastnosti patří dobrá zatékavost, vysoká pevnost, houževnatost a vysoký povrchový lesk. Je značně odolný vůči poškrábání, není náchylný ke korozi za napětím a jeho povrch má antistatický charakter. [26]

Acetát celulózy se zpracovává jak vstřikováním, tak vytlačováním. Spojovat lze svařováním, ale mnohem častěji se používá lepení. Zvolením vhodného lepidla je možno dosáhnout velmi kvalitních spojů. [26]

6.4 Biograde® C 7500

BIOGRADE® C 7500 je biopolymer s celulóзовým základem vhodný pro vstřikování. Má ještě lepší tepelnou odolnost než Biograde C 9550. V testu podle Vicata A bylo prokázáno, že snese teplotu 110 °C. Lze s ním pracovat na běžných univerzálních vstřikovacích strojích. Použit může být na výrobu propisovacích tužek, v kosmetice, na láhve. [Obr. 9] Je nevhodný pro „Hot runner systém“. [24]



Obr. 9: Biograde C 9550 a jeho aplikace. Propisovací tužky a klávesnice. [24]

Pro další druhy biopolymerů řady Biograde firmy FkuR Kunststoff GmbH a jejich vlastnosti doporučuji následovat zdroj. [24]

Tab. 2: Porovnání mechanických vlastností některých bioplastů. [18], [24]

	Modul pružnosti v tahu	Pevnost v tahu	Tažnost na mezi pevnosti	Modul pružnosti v ohybu	Vrbová houževnatost	Hustota	Teplota tání
	[MPa]	[MPa]	[%]	[MPa]	[kJ/m ²]	[kg/m ³]	[°C]
Biograde® C 9550	4 200	41	6	4 050	2	1 670	180
Biograde® C 7500	3 000	66	12,5	2 950	6,5	1 310	180
Bio-Flex® A 4100 CL	1 840	44	5	1 770	3	1 240	155
Bio-Flex® F 1130	390	17	>300	370	bez por.	1 400	155
Bio-Flex® F 6510	2 600	47	4	2 650	7	1 300	150-170
Bio-Flex® S 6540	2 800	31	5	2 890	3	1 620	110-150
Terralene® LL 1303	200	15	475	180	68	919	130-145
Terralene® WF 6543	2 600	26	4	2 620	3,5	1 086	130-145
Biomer® P 226	1 900	27	9	-	2,7	1 250	180

Tabulka 2 ukazuje odlišné mechanické vlastnosti vybraných bioproduktů. Některé vynikají svojí elasticitou (Boi-Flex F 1130, Terralene LL1303), jiné zase vysokým modulem pružnosti v tahu (Biograde C 9550, Biograde C 7500). Nelze říci, který bioplast je nejlepší, protože na každý výrobek jsou kladeny jiné požadavky. Vždy se hledá nejlepší kompromis.

6.5 Terralene ®

Je výsledkem spolupráce firem FKuR a Braskem. Jde o bioplast, jehož základ tvoří „zelený“ PE. Terralene ® nabízí stejnou zpracovatelnost a vlastnosti jako fosilní polyetylen. Vyznačuje se dobrou tekutostí taveniny a pevností. Zpracovává se na standardních strojích a je 100% recyklovatelný. Díky své unikátní technologii firma FKuR rozšiřuje použití „zeleného“ PE zvláště u produktů se složitými strukturami vyrobených vstřikováním. [24]

Některé druhy Terralene ®:

- **Terralene ® LL 1303** je ideální pro vytlačování a povlakování. Jeho mechanické vlastnosti jsou srovnatelné s LD-PE. Je dobře zpracovatelný a díky základu ze „zeleného“ PE má vysoký obsah přírodních zdrojů.
- **Terralene ® WF 6534** je biopolymer tvořen „zeleným“ PE, který navíc obsahuje přírodní dřevěná vlákna. Má vynikající tekutost využitelnou především u vstřikování s dlouhými kanály.

6.6 Biomer ®

Obecné vlastnosti:

Je biologicky rozložitelný polymer, vyrobený z obnovitelných zdrojů, jehož základ tvoří polyhydroxybutyrát (PHB). Je hydrofobní (i po delší expozici), odolává rozpouštědlům, olejům a tukům. Patří mezi netoxické materiály a jeho teplotní použitelnost se pohybuje v rozmezí od -30 °C do 120 °C. Zpracování probíhá na klasických strojích. Lze ho nalézt mezi produkty německé firmy Biomer. [18]

Některé konkrétní produkty:

Biomer ® 300 - tvrdý, nízká relaxace napětí,

- Biomer ® 300 P300E je vhodný pro vytlačování, nikoliv pro vyfukování
- Biomer ® 300 P300F je vhodný pro styk s potravinami (pouze EU)
- Biomer ® 300 P300EF je vhodný pro vytlačování (NE vyfukování) a styk s potravinami

Z Biomeru ® 300 se mohou vyrábět tenkostěnné předměty o velmi malých rozměrech s hladkými, někdy až lesklými, povrchy.

Biomer ® 226 - podobné vlastnosti jako PP, ale je tvrdší a má lepší tekutost

- Biomer ® 226 P226E je vhodný pro vytlačování, nikoliv pro vyfukování
- Biomer ® 226 P226F je vhodný pro styk s potravinami (pouze EU)
- Biomer ® 226 P226EF je vhodný pro vytlačování (NE vyfukování) a styk s potravinami

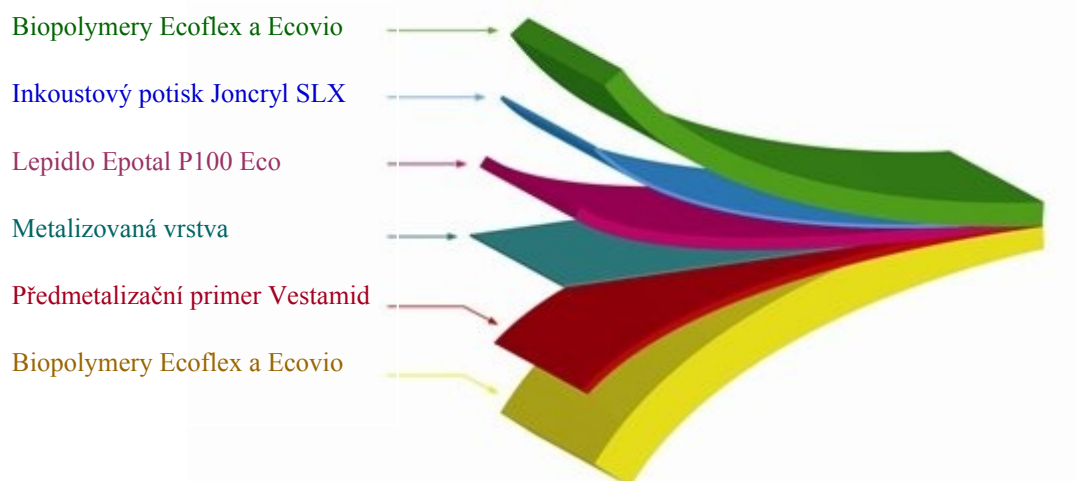
Pro další druhy biopolymerů firmy Biomer a jejich vlastnosti doporučuji následovat zdroj. [18]

6.7 Ecoflex a Ecovio pro vícevrstvé obaly

Dosavadní vícevrstvé nerecyklovatelné a nekompostovatelné obaly na potraviny jsou velmi neekologické. Proto se vědci začali zabývat myšlenkou, jak takový obal nahradit. Americká firma BASF sídlící v New Jersey zaznamenala velký úspěch v odvětví bioobalů. V roce 2012 se jí podařilo vyvinout první 100% biologicky rozložitelný plastový obal na potraviny, který splňuje normy ASTM D6400 a EN 13432. Základem jsou biopolymery Ecoflex a Ecovio. Ecoflex je tvořen organickými kopolyestery, které jsou odbouratelné kompostováním již během dvou týdnů. Ecovio je kompostovatelný plast vyrobený z obnovitelných zdrojů, jehož základem je polymléčná kyselina získaná z kukuřice. [6]

Nový bioobal je složen ze šesti vrstev. [Obr. 10] První vrstvou je folie tvořená biopolymery Ecoflex a Ecovio. Druhá je tvořena předmetalizačním Vestamidem vycházejícím z biopolyamidu. Třetí vrstva je vakuová metalizace

hliníkem a čtvrtá je tvořena lepidlem na vodní bázi. Pátá a šestá vrstva je tvořena opět biopolymery Ecoflex a Ecovio s barevným potiskem, který je jako čtvrtá na vodní bázi. [6]



Obr. 10: Detail 100% biologicky odbouratelného vícevrstvého obalu BASF. [27]

6.8 OXO-degradovatelná fólie Granitol

Je transparentní fólie vyráběná firmou Granitol sídlící v Moravském Berouně. Firma uvádí, že fólie může být "naprogramována" tak, aby poskytovala různou délku životnosti. Podle požadavků na výrobek lze zvolit délku rozpadu od 3 do 12 měsíců. Proces OXO-degradace začne okamžikem působení mechanicko-fyzikálních vlivů (světlo, mechanické pnutí a vlhkost) na fólii či produkt z ní vyrobený. Tedy např. ekologické tašky, skladované v původním balení (v krabici) nepodléhají rozkladu. Fólie s přísadami OXO-degradabilních plastů lze zpracovávat stejným způsobem, na stejném výrobním zařízení jako běžné polyetylenové folie. Přes své ekologicky kladné vlastnosti, je však stále vyrobená z ropy. [28]

Folie lze použít na balení potravin a výrobu nákupních tašek. Také je užitečná jako zemědělská fólie, případně jako krycí fólie ve stavebnictví. [28]

6.9 BIO taška Granitol

Ekologie a trvale udržitelný rozvoj dnes patří k nejžhavějším tématům průmyslu, obchodu i běžného života každé domácnosti. Proto také česká firma Granitol vyrábí 100% rozložitelné BIO tašky vyrobené z PLA. [28]

Uvedené vlastnosti dávají kompostovatelným taškám (na rozdíl od běžných polyetylenových tašek) hned dvě možnosti použití. Primárně produkt plní běžnou funkci odnosné tašky (transport zboží, reklamní nástroj), a to po dobu, kdy se s taškou manipuluje v suchém prostředí, a sekundárně se může použít na sběr domovního či zahradního bioodpadu (zbytky zeleniny, tráva, plevel atd.). BIO taška naplněna bioodpadem se může umístit do speciálních nádob nebo přímo zkompostovat na vlastní zahradě. Stačí tašku s odpadem zahrnout organickou hmotou – kompostem. [28]

6.10 Envira®

Je kompostovatelný obal, který nepředstavuje žádnou ekologickou zátěž, není vyrobený z ropných produktů a po ukončení životnosti obalu ho lze kompletně rozložit na biomasu, vodu a CO₂. Tento obal je vyrobený z obnovitelných zdrojů, jako je například kukuřice, sója nebo brambory.

Kompostovatelné plasty Envira mají lepší vzhled a vyšší pevnost než polyetylen (PE). Jsou také vhodné pro uchovávání potravin. Na potravinách uzavřených v klasických fóliích se již po několika hodinách vyskytují spóry (rozmnožovací výtrusy) plísní, což se u Envira obalů neděje. [Obr. 11] Další dobrou vlastností je, že pohlcují nepříjemné zápachy, tudíž jsou vhodné pro domácí třídění bioodpadu. [29]



Obr. 11: Biopytle a bio sáčky Envira® [29]

Mnoho dalších typů obalů, včetně kompostovatelného obalu Envira, vyrábí a distribuje brněnská firma TART. Tato firma se zabývá nejen obalovými materiály, ale i vývojem a výrobou balících strojů.

6.11 Green PE („Zelený“ PE)

„Zelený“ polyetylen je vysoce hodnotný biopolymer, jehož základní výrobní surovinou je cukrová třtina. Nutno říci, že není biodegradovatelný, ovšem životnímu prostředí do jisté míry také pomáhá. Při pěstování příslušné plodiny dochází ke spotřebě oxidu uhličitého. Každá tuna vyrobeného materiálu, zachytí až 2,5 tuny CO₂. Velkou předností od ostatních, přírodně vyrobených bioplastů, je jeho 100% recyklovatelnost. Při ní se chová podobně jako konvenční PE, a proto nemusí být obav, že by při znovuvyužití nastaly nějaké komplikace způsobené jeho přírodním základem. [24], [30]

I přesto, že jde o produkt vyrobený z obnovitelných surovin, má stejné mechanické vlastnosti jako „ropný“ PE a lze ho zpracovávat i na stejných strojích. Takže nenutí výrobce investovat do nového technického vybavení. [24], [30]

Pod výzkumem „zelený“ PE je podepsána Americká firma Braskem, která úzce spolupracuje německou firmou FkuR. Braskem patří k největším světovým vývojářům biopolymerů. Ve své nabídce mají několik typů HD-PE a LLD-PE (pro vyfukování a vstřikování) ve kterých je, někdy až v 96 % obsažen právě tento ekologicky vyrobený polyetylen. [24], [30]

Brazílie je tou zemí, kde Firma Braskem provádí více jak 30 let výzkum a technologický rozvoj v tomto odvětví. Plocha využitého území pro cukrovou třtinu je pouze jedno procento z celkové rozlohy brazilské orné půdy. To znamená, že není ohroženo pěstování ostatních zemědělských plodin. Získaný produkt drží prvenství v největším snížení emisí skleníkových plynů. Emise plynů během celého životního cyklu, až do spálení etanolu, jsou až o 84 % nižší než u benzínu. U řepkového etanolu jsou emise také nižší, ale už jen o 40 % a u kukuřičného o 30 %. [24], [30]

Veškeré pěstování je v souladu s národními a regionálními zákony o zachování stávajícího ekosystému. [30]

6.12 Mater-Bi®

Je inovativní bioplast, který je vyvinut z rostlinných olejů (kukuřice) Italskou firmou Novamont. Neobsahuje žádné stopy fosilních látek, je biologicky odbouratelný a splňuje evropskou normu EN 13432. Zpracovává se formou standardních granulí, ze kterých se můžou na běžných strojích vyrábět různé plastové předměty: talíře, příbory, misky, obaly na potraviny, různé doplňky, hračky a uplatnění najde i v automobilovém průmyslu. Výrobky jsou antistatické a lze je potiskovat obvyklými inkousty. Mater-Bi® může být částečně modifikován dle přání zákazníka. [31]

6.13 Solanyl®

Je vysoce inovační a trvale udržitelný biologicky rozložitelný polymer, který může být vstřikován na standardních strojích. Jeho název vznikl z latinského sousloví *Solanum tuberosum*, což je česky brambora. Jak už pojmenování napovídá, pro zhotovení Solanylu je zapotřebí bramborový škrob. Výhodou je, že potřebný škrob se získává z bramborového odpadu, který vzniká při výrobě krmiv. To znamená, že takto zhotovený bioplast nekonkuruje výrobě zemědělským plodinám. [25], [32], [33]

Zhotovený granulát může být použit pro technologii vstřikování, vytlačování i vyfukování. Tento biopolymer dokáže plně nahrazovat termoplasty na ropné bázi, jako jsou například HDPE, LDPE a PP. Při zpracování vyžaduje delší dobu chlazení a také je žádoucí, aby vyhazovací hroty měly relativně velký povrch, protože materiál zůstává dlouho měkký. Solanyl® může být kombinován s přírodními vlákny a barven speciálně vyvinutými biologicky rozložitelnými barvivy. Vyrábí se z něj například držáky nápojů, kryty CD a DVD, hračky, golfové odpaliště, květináče a různé další plastové předměty. Solanyl® vyrábí Nizozemská firma Rodenburg Biopolymers a v nabídce jej má mimo jiné i česká firma K.O.S. s.r.o. [25], [32], [33]

6.14 FlourPlast ®

Je řada biopolymerů rozdělených do takzvaných tříd podle specifických vlastností. Každá třída má své určité vlastnosti, díky kterým lze jemně doladovat vlastnosti konečného produktu. Nejčastěji jsou získávány z brambor nebo obilí. Nizozemská firma Rodenburg Biopolymers vyvíjí biopolymery z těchto tříd jako příměsi do komerčně dostupných biopolymerů a do některých konvenčních polymerů. FlourPlast ® je nejčastěji kombinován s biopolymerem PLA, PCL, PHA, PBAT, ale také s polymery PP a PE. [33]

6.15 Optinyl ®

Je biopolymer vyrobený z obnovitelných surovin využíván hlavně jako nosný materiál pro barevné koncentráty, přísady koncentrátů a prvky pro optimalizaci výroby nebo výrobního procesu. [33]

6.16 Bioplast z drůbežího peří

Vědci z americké univerzity v Nebrasce (USA) se už od roku 2011 zabývají výzkumem, jak efektivně využít peří k výrobě bioplastu. Myšlenka je to výborná, protože nadbytečného odpadu z drůbeže je velmi mnoho. Konkrétně se jedná o kuřecí a krůtí peří, které obsahuje velké množství keratinu (bílkoviny). Keratin je důležitou součástí našich vlasů, chlupů a nehtů. A právě tato bílkovina se ukázala být ideálním základem pro výrobu bioplastu. [35], [34]

Peří se nejdříve očistí, následně rozemele a do vzniklého jemného prášku se přidá chemikálie, která spojuje molekuly keratinu do dlouhých řetězců a vytváří tak biopolymer. [35], [34]

Tento materiál je odolnější než mnohé vyrobené bioplasty ze sojových bobů nebo škrobu. Jeho výhodou je relativně jednoduchá formovatelnost do podoby různých výrobků, odolnost proti vodě nebo mechanickému tlaku. [35], [34]

Ze začátku tento biopolymer sloužil jen jako přísada k polyolefinům, ale pokračováním vývoje se jeho podíl zvyšoval, až se z něho stala obdoba PP a PE. Úplně bez ropných produktů se ovšem neobejde. Molekuly původně ropných uhlovodíků se chemicky "roubují" na peří, aby výsledný plast získal žádoucí vlastnosti. Především voděodolnost. Díky tomuto postupu jsou výsledky testů poměrně optimistické. [35], [34]

6.17 Biopolymery z tabáku a rákosu

Americká firma Metabolix se intenzivně zabývá výzkumem, jak využít pro člověka nekonsumní rostliny k získání biopolymeru a biopaliv. Jejich speciální technologie spočívá v expresi genů daných rostlin. Jinými slovy se snaží zvýšit produkci PHB v rostlinné tkáni. Je to složitý proces, při kterém hrozí i úhyn rostliny. Metabolix se především zaměřuje na tabák, rákosovou travu, lníčku a cukrovou třtinu. [36], [37]

Tabák byl zvolen jako demonstrativní rostlina pro ověření funkčnosti technologie. Hodnocení bylo velmi kladné, jelikož vykázal vysokou úroveň produkovaného PHB. Ze samotných listů to bylo až 18 %. Do vážných úvah se také dostala rákosová tráva. Jde o velmi výnosnou rychle rostoucí rostlinu (až 64,5 tuny na hektar) a pro své nízké vstupní zemědělské náklady má velký potenciál, že se z ní stane komerční produkt na výrobu PHB. Bez povšimnutí by neměla zůstat ani lnička, kterou Metabolix pěstuje především v Kanadě. Lnička je průmyslová plodina bohatá na olej. Ten se vyskytuje v jejích semenech (cca 35 %). Odolává mrazům i obávanému hmyzu. Její neopomenutelnou předností je krátké vegetační období (60-90 dnů). [36], [37]

Metabolix chce ve finančně nákladném vývoji pokračovat, aby plnil svou vizi - používat v každodenním životě výrobky, které jsou vyrobené udržitelným způsobem a z obnovitelných zdrojů. [36], [37]

6.18 Bio-kompozity TUL

V rámci řešení projektu TAČR (Technologická agentura České republiky) jsou na Technické univerzitě v Liberci vyvíjeny a testovány netradiční kompozity. Přesněji jde o bio-kompozity, které sice nejde biologicky degradovat, ale jsou kompletně vyrobené z obnovitelných zdrojů. Jejich základ tvoří PLA matrice, „zelený“ PE a přírodní plniva. [38]

O PLA a „zeleným“ PE je zmíněno již výše, ovšem o bio-plnivech doposud ne. Na bio-plniva jsou kladeny vysoké nároky. Musí vykazovat odolnost proti degradaci při zpracovatelských podmínkách a mít i ekonomický přínos. Skupina odborníků vybrala jako nejvhodnější plniva z ramie, vlny, lnu, sóji, juty, kokosu, banánu, bambusu, bavlny a konopí. Nevýhodou přírodních vláknitých plniv je skutečnost, že jsou hydrofilní, což může za určitých okolností způsobit bobtnání vláken a vést až k jejich možnému rozkladu, např. vlivem plísní. Navíc navlhavost přírodních vláken může způsobit destrukci použité PLA polymerní matrice, což se projeví na

zpracovatelnosti získaných kompozitů a na zvýšení jejich křehkosti. Proto je nutné dokonalé vysušení granulátu bio-kompozitů. S ohledem na tuto skutečnost se jeví jako nejvhodnější použití materiálů s obsahem lněných nebo banánových vláken. [39], [38]

U bio-kompozitů se hodnotilo a stále hodnotí tekutost, mechanické vlastnosti, termodynamické vlastnosti, zesíťovanost, ale i biodegradabilita v mikro-bakteriálních roztocích. [39], [38]

6.19 Vlastní pokusy

V roce 2008 přišla společnost Hypermarket Golbus s tím, že svým zákazníkům bude k nákupům dávat ekologicky rozložitelné tašky. Doslova na ní bylo a stále je napsáno: I když jsem plastová, obsahuji TDPA aditivum, které způsobí, že po třech letech ze mě zbude jen voda, CO₂ a biomasa.“

Tentýž rok byla taška mnou zakopána asi tak deset centimetrů pod zem. Podle tvrzení by po třech letech měla být rozložená. Ale nestalo se tak. Po vykopání, hned na druhý pokus, byla nalezena absolutně neporušená. Byla pouze znečištěná od hlíny. Není to podvod? Asi ne. Možná, že by se to dalo vysvětlit takto. Tím, že byla zakopána, se částečně zakonzervovala. Měla omezený přístup vzduchu, nešlo na ní sluneční záření a teplotní výkyvy byly také omezenější. To znamená, že degradace byla zpomalená, protože všechny tyto vlivy rozklad urychlují. Na druhou stranu tato taška je OXO-degradabilní, tedy její degradace není primárně vázána na biologický rozklad, ale na chemickou oxidaci. Té by zakopání vadit nemělo.

Minulý rok byla „globusácká“ taška opět podrobena testu. Byla mnou upevněna na desku a umístěna na místo, které je vystaveno povětrnostním vlivům (slunce, vítr, vlhkost, mráz...). Po osmi měsících mohu konstatovat, že testovaná taška, co se týče vizuální degradace, pouze ztratila barvu. [Obr. 12], [Obr. 13] Na obrázku 5 je vidět kontrast mezi místy, kam sluneční záření dopadalo a kam nikoliv. Horní rohy byly zakryty převislými uchy tašky.

Z těchto amatérských testů lze soudit, že OXO-degradabilní tašky pod vrstvou obyčejné hlíny během tří let nedegradují. Jiné to je, když se na ně nechají působit povětrnostní vlivy. Tam po několika měsících jistá degradace vidět je. V každém případě by takovéto materiály měly končit ve žlutých kontejnerech na plasty a ne v přírodě.



Obr. 12: Nová a nepoužitá taška. 10/2012



Obr. 13: Taška po 8 měsících. 5/2013

7 Závěr

Tato práce se zaměřuje na plasty, které snižují nebo úplně anulují zátěž životního prostředí. Před vznikem takového ekologicky šetrného materiálu je nutný několikaletý a značně nákladný výzkum. To si může jen těžko někdo dovolit. Avšak omezené zásoby ropy a zahlcování životního prostředí plastovým odpadem, přesvědčilo některé výrobce a dokonce i některé státy, aby takový finančně náročný výzkum započaly.

V práci jsou podrobněji popsány dva nejčastější způsoby vzniku bioplastu. Prvním je výroba plastů z ropy se speciálními přísadami, které po určité době zapříčiní rozklad daného výrobku, a druhým je výroba plastů z obnovitelných surovin. V prvním případě jde stále o „ropné“ výrobky a tudíž ropy nešetří. Ovšem velkým plusem je jejich 100% recyklovatelnost. To znamená, že když se ještě před započítím degradace stanou nepotřebnými, může se z nich vyrobit předmět nový, potřebný. U plastů z obnovitelných zdrojů je plusem skutečná absence fosilních látek, spotřeba oxidu uhličitého při pěstování rostlin, a u některých i úplná kompostovatelnost. Mínusem je vysoká cena způsobená nutností pěstování rostlin a to, že většina takto vyrobených hmot pochází ze zemědělských plodin, které se běžně pěstují pro lidstvo. Práce upozorňuje také na to, že pokud by došlo k zahájení masové výroby, následovalo by zdražování potravin a celosvětové pobouření. Proto se věda ubírá i jiným směrem. Zkoušejí se vyrábět plasty z lidmi nevyužívaných rostlin nebo z některých odpadních surovin, jako například z použitého fritovacího oleje nebo z kuřecího peří. Což je jistě správný směr.

Velkým kladem je fakt, že drtivou většinu bioplastů i biodegradabilních plastů lze zpracovávat na standardních strojích. Takže výrobní cyklus není dražší oproti konvenčnímu.

V práci jsou uvedené konkrétní biopolymerní sloučeniny PLA, PHB, PVA, PCL a PBAT a skutečné bio-výrobky od různých firem. Většina firem zabývajících se bioplasty je zahraničních, ale i Česká republika má své zastoupení na trhu.

Stejně jako je důležitý výzkum a zdokonalování plastů, je důležitá i výchova lidí. Pro začátek by stačila rozsáhlejší informovanost o nových produktech, a jak s nimi správně nakládat. Z globálního hlediska je zapotřebí zodpovědnější přístup a uvědomění si, že životní prostředí je třeba chránit.

Seznam použité literatury:

- [1] Dostupné z WWW: [cit. 4. 2. 2013]
<http://www.google.com/search?q=Hevea+brasiliensis+picture&hl=cs&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=2gSFUfqjF82KswaD2oGoBw&ved=0CDAQsAQ&biw=1920&bih=928>
- [2] DUCHÁČEK V., Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití; Vysoká škola chemicko-technologická v Praze; vydavatelství VŠCHT Praha
- [3] Dostupné z WWW: [cit. 28. 1. 2013]
http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&id_desc=52203&s_lang=2&title=Lebed%ECvova%20metoda
- [4] Dostupné z WWW: [cit. 2. 2. 2013] <http://www.novplasta.cz>
- [5] Dostupné z WWW: [cit. 23. 4. 2013] <http://www.national-geographic.cz/detail/kdy-dojde-ropa-v-optimisticke-verzi-za-60-let-a-v-pesimisticke-3737/>
- [6] Dostupné z WWW: [cit. 5. 2. 2013]
<http://www.enviweb.cz/clanek/biodpad/94114/>
- [7] Dostupné z WWW: [cit. 4. 2. 2013]
<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=146&ch=1&typ=1&val=118744>
- [8] Dostupné z WWW: [cit. 4. 2. 2013] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/>
- [9] Dostupné z WWW: [cit. 14. 5. 2013] <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/oxo-rozlozitelny-plast-d2w>
- [10] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013] <http://www.epi-global.com/en/epi-technology.php>
- [11] Dostupné z WWW: [cit. 2. 4. 2013] <http://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>
- [12] Dostupné z WWW: [cit. 23. 4. 2013]
<http://www.inovacnipodnikani.cz/aktuality/chemie-a-materialy/?id=441>
- [13] Dostupné z WWW: [cit. 5. 2. 2013]
<http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/67328/>
- [14] Dostupné z WWW: [cit. 6. 2. 2013]
http://www.rozhlas.cz/zpravy/veda/_zprava/1142196

- [15] Dostupné z WWW: [cit. 4. 2. 2013]
http://greenplastics.com/wiki/ASTM_D6400
- [16] Dostupné z WWW: [cit. 4. 2. 2013]
<http://www.biobagusa.com/astmd6400.htm>
- [17] Dostupné z WWW: [cit. 6. 5. 2013] <http://www.chempoint.cz/kyselina-polymlečna-nejen-jako-biodegradabilní-polymer>
- [18] Dostupné z WWW: [cit. 27. 4. 2013] <http://www.biomer.de>
- [19] Dostupné z WWW: [cit. 25. 4. 2013]
http://www.envimarket.cz/?env=zbozi__dfb/Bal%EDc%ED_f%F3lie.html
- [20] Dostupné z WWW: [cit. 10. 5. 2013]
<http://www.mrk.cz/clanek.php3?id=1175>
- [21] Dostupné z WWW: [cit. 10. 5. 2013]
<http://www.chempoint.cz/polykaprolakton-biodegradabilní-polyester>
- [22] Dostupné z WWW: [cit. 10. 5. 2013]
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16398516>
- [23] Dostupné z WWW: [cit. 10. 5. 2013] <http://www.k-o-s.cz/>
- [24] Dostupné z WWW: [cit. 28. 4. 2013] <http://www.fkur.com>
- [25] Dostupné z WWW: [cit. 4. 5. 2013]
<http://www.bioobal.cz/bioplast.php?menu=PRODUKTY>
- [26] Dostupné z WWW: [cit. 11. 5. 2013] <http://www.techportal.cz/1/1/acetat-celulozy-cid33982/>
- [27] Dostupné z WWW: [cit. 5. 2. 2013] <http://odpady.ihned.cz/c1-58940030>
- [28] Dostupné z WWW: [cit. 25. 4. 2013] <http://www.granitol.cz/produkty/oxo-biodegradabilní-folie>
- [29] Dostupné z WWW: [cit. 25. 4. 2013] <http://www.tart.cz>
- [30] Dostupné z WWW: [cit. 29. 4. 2013]
<http://www.braskem.com.br/plasticoverde/eng/braskem.html>
- [31] Dostupné z WWW: [cit. 30. 4. 2013]
<http://www.novamont.com/default.asp?id=421>

[32] Dostupné z WWW: [cit. 5. 5. 2013]

<http://www.solanylbiopolymers.com/about-solanyl.asp>

[33] Dostupné z WWW: [cit. 2. 4. 2013] <http://www.biopolymers.nl/>

[34] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013] http://technet.idnes.cz/vedci-chteji-z-peri-vyrabet-plasty-jsou-ho-hromady-a-do-krmeni-nesmi-1po-/veda.aspx?c=A110405_184002_veda_mla

[35] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013]

<http://www.nazeleno.cz/nazelenoplus/plasty-vyrobene-z-peri-budoucnost-bez-ropy.aspx>

[36] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013]

<http://www.icis.com/Articles/2008/04/28/9119468/researchers-seek-cheaper-bioplastic-from-grass.html>

[37] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013] <http://www.metabolix.com/products>

[38] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013]

http://www.svetplastu.eu/doc/SVET_PLASTU_6_MSV_2012_2STR.pdf

[39] Dostupné z WWW: [cit. 15. 5. 2013]

http://www.svetplastu.eu/doc/SP7_JARO_2013-2STR.pdf

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to full amount.

I compiled the thesis on my own with use of acknowledged sources and on the basis of consultation with the the head of the thesis and consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature